

# QRS DETECTION BASED ON STOCKWELL TRANSFORM

**Ondřej Kašík**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xkasik01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Lukáš Smital

E-mail: smital@feec.vutbr.cz

## **Abstract:**

This paper deals with the detection of QRS complexes in the ECG record using the Stockwell transform, Shannon Energy and adaptive thresholding. The information about design of the QRS detector and its detection performance is also provided. Sensitivity of our detector achieves 99,80%, it's positive prediction takes value 98,86%.

## **Keywords:**

Electrocardiogram, QRS complex, Stockwell transform, Shannon energy, adaptive thresholding, detection

## **1 ÚVOD**

Elektrokardiografie je dnes nejrozšířenější diagnostickou metodou na poli kardiologie. Je založena na snímání elektrických impulsů, které mají svůj původ v srdci. Výstupem této metody je elektrokardiogram (EKG) – záznam změn elektrické aktivity srdce v čase. Tento záznam obsahuje mnoho diagnostických informací, které nám mohou napomoci porozumět činnosti lidského srdce.

Hodnocení elektrokardiogramu je založeno na znalosti poloh QRS komplexů – nejmohutnějších segmentů celého záznamu, od této informace se následně odvíjejí všechny ostatní kroky analýzy elektrokardiogramu. Dříve prováděli lékaři detekci komplexů „ručně“, což je časově velmi náročné. Proto bylo důležité vytvořit detektor, který by lékařům práci usnadnil. V dnešní době dosahují detektory QRS komplexů, které jsou využívány v klinické praxi, úspěšnosti vyšší než 99,5 % [2].

## **2 PRINCIP DETEKCE QRS KOMPLEXŮ**

Způsobů, jak lze QRS komplexy v EKG záznamu detekovat je mnoho. Lze využít například přístupů založených na číslicové filtraci signálu, vlnkových transformací, derivací signálu či umělých neuronových sítí [2]. Níže je popsána detekce založená na Stockwellově transformaci a výpočtu Shannonovy energie. Následně jsou v tomto signálu metodou adaptivního prahování nalezeny polohy vrcholů, představující QRS komplexy [1].

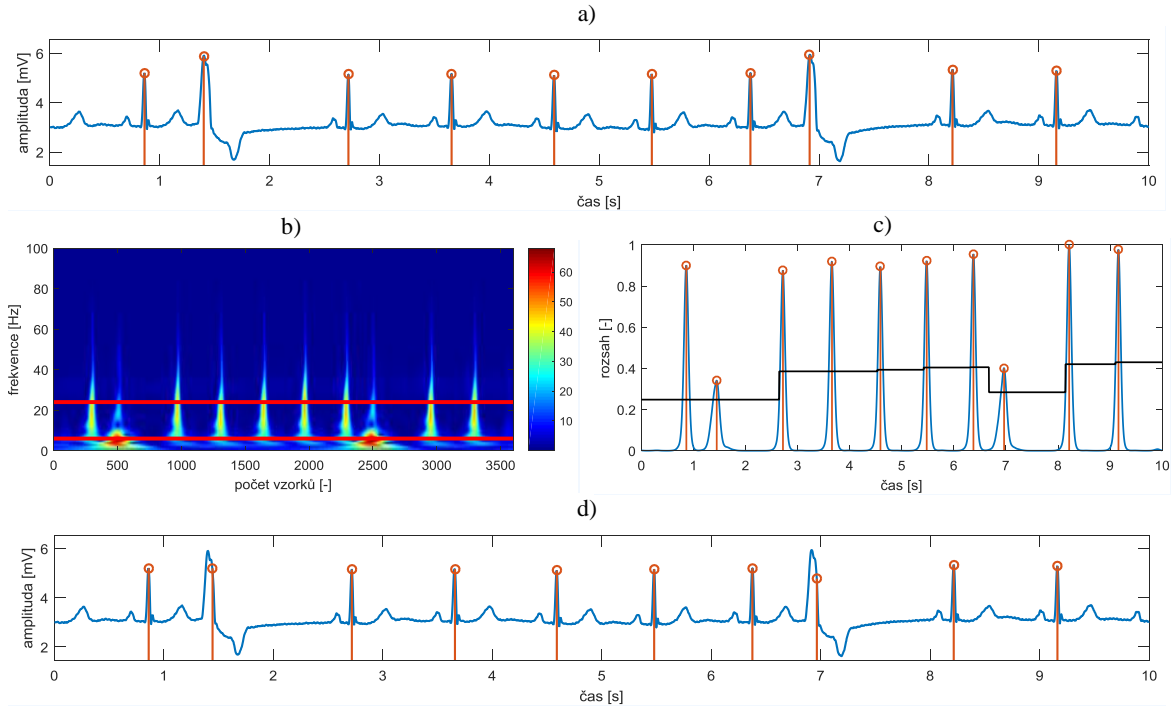
### **2.1 STOCKWELLOVA TRANSFORMACE**

Stockwellova transformace je matematický proces, jehož výstupem je časově frekvenční rozklad vstupního signálu. Tento rozklad poskytuje informace o tom, jaké frekvenční složky jsou v signálu v konkrétním čase zastoupeny. Diskrétní Stockwellovu transformaci popisuje rovnice [3]:

$$ST = T \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \frac{kF}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(nT-lT)^2}{2}} e^{-j2\pi kFnT} \quad (1)$$

kde  $x(nT)$  je vstupní signál ( $n$  je vektor celých čísel nabývajících hodnot 0 až počet vzorků signálu,  $T$  je vzorkovací perioda),  $F$  je kmitočtový krok, index  $l$  odpovídá časovému posunu a index  $k$  frekvenci.

Pro nás je zajímavé frekvenční pásmo zhruba od 5 do 22.5 Hz [1] – v tomto pásmu jsou nejvýrazněji zastoupeny právě QRS komplexy. Pro veškeré další zpracování proto budeme uvažovat pouze tento výřez Stockwellovy transformace. Zároveň se tak zbavíme i případného rušení, kterým může být signál zatížen [1]. Nejčastěji se jedná o nízkofrekvenční rušení – drift, s frekvencí nižší než 5 Hz (projeví se „zvlněním“ signálu) nebo síťové rušení – brum, s frekvencí 50 Hz. Na obrázku 1b je výše zmíněná frekvenční oblast ohraničena vodorovnými červenými čarami.



**Obrázek 1** - Průběh detekce QRS komplexů v EKG záznamu

**a)** vstupní EKG signál s vyznačenými referenčními pozicemi QRS komplexů **b)** výstup Stockwellovy transformace, využití frekvenční pásmo (červeně) **c)** normalizovaná Shannonova energie (modře), adaptivní práh (černě), nalezené pozice vrcholů (červeně) **d)** EKG záznam s nalezenými QRS komplexy

## 2.2 SHANNONOVA ENERGIE

Nyní potřebujeme získat signál, ve kterém bychom mohli detekovat vrcholy reprezentující přítomnost QRS komplexů. Shannonovu energii (obrázek 1c) vypočteme z vektoru  $ST_{SUM}$ , který získáme sečtením sloupců výše zmíněného výřezu Stockwellovy transformace. Shannonova energie ( $SSE$ ) nám poskytuje hodnoty energie lokálního spektra pro každý vzorek vstupního signálu. Vypočteme ji s využitím rovnice [1]:

$$SSE(i) = -[ST_{SUM}(i)]^2 \cdot \log[ST_{SUM}(i)]^2 \quad (2)$$

Abychom předešli zbytečným problémům spojeným s různým rozsahem získaného signálu, normalizujeme jej podle vzorce:

$$SSE_{NORM}(i) = \frac{SSE(i) - \min(SSE)}{\max(SSE) - \min(SSE)} \quad (3)$$

kde  $SSE$  představuje Shannonovu energii. Získáme tak signál s rozsahem hodnot od 0 do 1.

Obvykle se místo výpočtu Shannonovy energie využívá pouze umocnění signálu, oproti tomuto postupu má však Shannonova energie tu výhodu, že potlačuje složky signálu jak s nízkou, tak s vysokou hodnotou, což má za následek, že vrcholy v získaném signálu mají podobnou výšku (rozdíl mezi amplitudou jednotlivých vrcholů není tak markantní, jako kdyby byl signál umocněn) [1].

### 2.3 ADAPTIVNÍ PRAHOVÁNÍ

Posledním krokem detekce QRS komplexů je nalezení vrcholů v normalizované Shannonově energii (obrázek 1c), které korespondují s polohou QRS komplexů v původním EKG záznamu (obrázek 1d). K tomu je využito adaptivního prahování signálu, tedy prahu (obrázek 1c), který je proměnný v čase a přizpůsobuje se průběhu signálu. Úroveň prahu se mění v závislosti na výšce několika posledních nalezených vrcholů [2].

Každý nalezený vrchol musí splňovat několik kritérií, jako je například minimální výška vrcholu či vzdálenost od vrcholu předchozího. Samotné detekci předchází fáze učení, během které jsou nalezeny alespoň dva vrcholy, z nichž je vypočtena hodnota prahu pro následnou detekci a RR interval, od kterého se odvíjí minimální vzdálenost dalšího nalezeného vrcholu.

Jestliže detektor po delší dobu nenalezne žádný vrchol, vrátí se na pozici posledního nalezeného vrcholu, sníží hodnotu prahu a signál projde znovu. To, kolikrát bude tento děj opakován, je nastavitelným parametrem, stejně jako například míra snížení prahu při opětovné detekci, doba trvání fáze učení či počet vrcholů, ze kterých je počítána hodnota aktuálního prahu.

## 3 ÚSPĚŠNOST DETEKCE

Test úspěšnosti vytvořeného detektoru byl proveden na databázi *MIT-BIH Arrhythmia*, která obsahuje 48 třicetiminutových záznamů srdeční aktivity. Po nalezení nejvhodnější kombinace výše zmíněných parametrů bylo dosaženo těchto výsledků (hodnoty parametrů byly nastaveny shodně pro všechny signály v databázi):

- senzitivita: 99,80 %
- pozitivní predikce: 99,87 %
- chybovost: 0,33 %

$$Se = \frac{TP}{TP+FN} \quad PP = \frac{TP}{TP+FP} \quad Er = \frac{FN+FP}{T}$$

QRS komplex je považován za správně detekovaný, neliší-li se jeho nalezená pozice o více než 50 ms od referenční pozice tohoto QRS komplexu.

## 4 ZÁVĚR

Tento článek se zabývá metodou detekce QRS komplexů, při které je využito Stockwellovy transformace, Shannonovy energie a adaptivního prahování signálu. Výhodou této metody je, že díky využití kombinace Stockwellovy transformace a výpočtu Shannonovy energie získáme signál, jehož průběh je velmi hladký, což usnadňuje následnou detekci vrcholů. Další výhodou je, že na vstup detektoru může být přiveden zarušený signál, úspěšnost detekce to však ovlivní pouze minimálně.

Navržený detektor dosahuje úspěšnosti 99,87 %. S přihlédnutím k jeho jednoduchosti se jedná o velmi dobrý výsledek, úspěšnost detekce je srovnatelná s ostatními detektory v této kategorii.

Detektor je robustní a je schopen zpracovat rozličné EKG signály. Výpočetní náročnost detektoru je průměrná, zpracování jednoho třicetiminutového signálu trvá přibližně 6 vteřin. Do detektoru je možné v budoucnosti přidávat další funkce a dále tak zvyšovat úspěšnost detekce.

## REFERENCE

- [1] ZIDELMAL, Z. a A. AMIROU. *QRS detection using S-Transform and Shannon energy* [online]. 2014 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260714001473>
- [2] SÖRNMO, Leif a Pablo LAGUNA. *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications* [online]. 2005 [cit. 2018-03-10]. ISBN 978-0-12-437552-9. Dostupné z: <https://www.elsevier.com/books/bioelectrical-signal-processing-in-cardiac-and-neurological-applications/sornmo/978-0-12-437552-9>
- [3] KOZUMPLÍK, Jiří. *Analýza biologických signálů* [online]. 2012 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://moodle.vutbr.cz/mod/folder/view.php?id=122356>